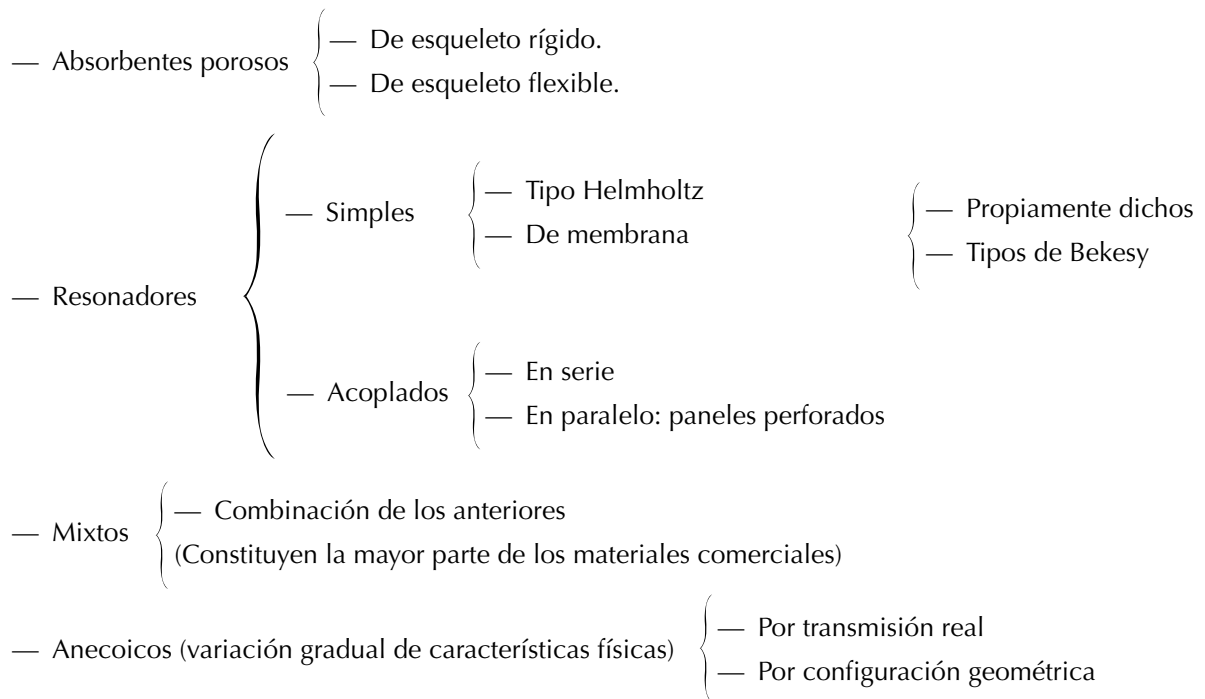


04.05. Absorbentes sonoros

Son todos aquellos materiales o sistemas que disponen de elevados coeficientes de absorción sonora en todo o en parte del espectro de frecuencias audibles.

Se pueden clasificar según el siguiente esquema:



Los más típicos, y desde luego los únicos, de entre los considerados aquí, con características de verdadero material, son los materiales porosos; siendo, los demás, dispositivos o estructuras absorbentes.

Los *materiales* porosos están constituidos por un medio sólido (esqueleto), recorrido por cavidades más o menos tortuosas (poros) comunicadas con el exterior.

La degradación de la energía acústica se produce por fricción viscosa del fluido en el seno de las cavidades.

Desde el punto de vista del comportamiento acústico, conviene distinguir entre materiales de esqueleto rígido y flexible. En los primeros el coeficiente de absorción aumenta con la frecuencia, mientras que en los segundos se presentan resonancias (máximos) de absorción a frecuencias bajas y medias.

Los *resonadores*; como su propio nombre indica, producen la absorción de energía acústica mediante un proceso de resonancia. El movimiento resonante de una parte del sistema extrae energía del campo acústico, de manera selectiva y preferente, en una banda de frecuencias determinada.

Hay diversas fórmulas para el cálculo de la frecuencia central de resonancia, y así poder utilizar el más adecuado en cada caso.

Los *absorbentes anecoicos*, también llamados dispositivos de absorción con variación progresiva de las características físicas, hacen uso del hecho por el que la reflexión de una onda acústica se produce cuando encuentra una variación de las características físicas del medio en que se propaga. Con la variación gradual de éstas, se pretende reducir al mínimo el obstáculo que presenta el material.

Con estas absorbentes se logran coeficientes de absorción a incidencia normal superiores al 99%, a partir de una determinada frecuencia llamada de corte. Su utilización es específica en cámaras anecoicas.

En la práctica son tres los materiales o sistemas utilizados:

- Materiales porosos.
- Resonadores de placa.
- Resonadores de Helmholtz.

04.05.01. MATERIALES POROSOS

Los materiales porosos están constituidos por una estructura que configura una elevada cantidad de intersticios o poros, comunicados entre sí. Los materiales de estructura fibrosa se ajustan exactamente a esta configuración.

Al incidir una onda acústica sobre la superficie del material, un importante porcentaje de la misma penetra por los intersticios; haciendo entrar en vibración a las fibras, con lo que se produce una transformación en energía cinética de parte de la energía acústica.

Por otra parte, el aire que ocupa los poros entra en movimiento; produciéndose unas pérdidas de energía por el rozamiento de las partículas con el esqueleto, que se transforma en calor.

Como quiera que la sección de que dispone la onda acústica está limitada por el esqueleto o elemento sólido; se comprende que el comportamiento del material dependerá de la porosidad del mismo.

Efectivamente, la elevada absorción acústica de los materiales constituidos por fibras de vidrio o roca es explicable a su elevada porosidad que puede rebasar el 99%.

No obstante, como quiera que los espesores de capa que normalmente se utilizan es muy limitada, por problemas de espacio y costo, la absorción acústica con materiales porosos es muy elevada a las altas frecuencias y limitada a las bajas. Efectivamente, para obtener un grado de absorción del 99%, es necesario un espesor de aislamiento para una determinada frecuencia; equivalente a $\lambda/4$ (λ longitud de onda).

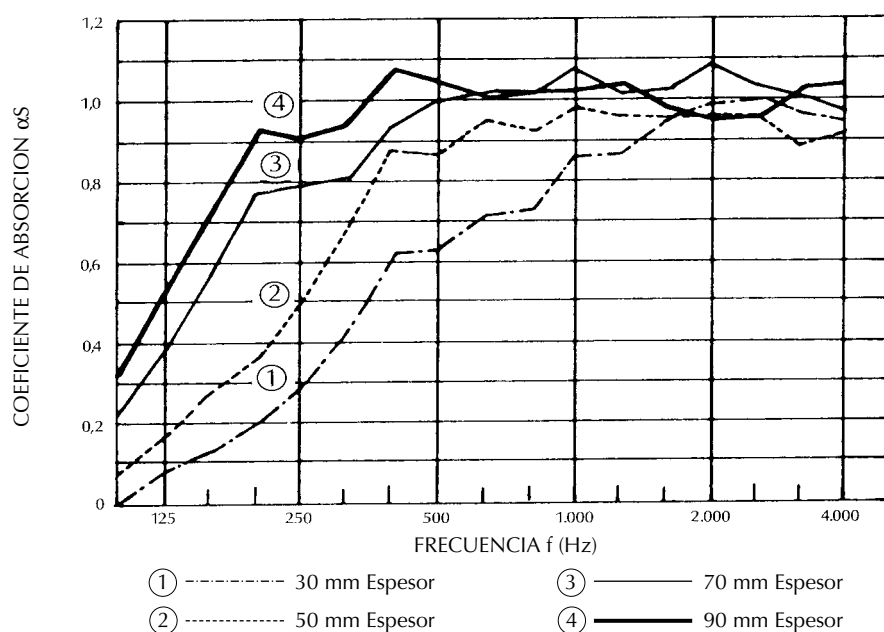


Fig. 9. Absorción acústica de paneles de lana de roca «ROCLAINE» de densidad 70 kg/m³ apoyados sobre una superficie rígida.

En la Fig. 9 aparecen las curvas de absorción acústica de un panel de lana de roca con diferentes espesores.

Observando las mismas, puede apreciarse lo anteriormente expuesto: la influencia del espesor sobre el coeficiente de absorción. Efectivamente, así como para las altas frecuencias el comportamiento está muy en línea para los cuatro espesores considerados, en las medias y especialmente en bajas frecuencias, se aprecia claramente la ganancia obtenida al aumentar el espesor.

Otros factores de influencia son los espacios vacíos entre el material absorbente y la pared rígida (cámara) y los revestimientos.

La cámara actúa como un implementador del espesor real del material, de modo que se consiguen absorciones más elevadas para un mismo producto según su disposición esté más alejada de la pared rígida.

Este hecho tiene especial relevancia en las bajas y medias frecuencias, pero no en las altas, ya que en éstas los coeficientes de absorción son de por sí muy elevados.

El otro aspecto importante es el revestimiento con el que se presentan habitualmente estos productos para su comercialización como «techos acústicos».

Los revestimientos pueden ser de dos clases: porosos e impermeables.

Si el revestimiento es poroso, no presenta una impedancia importante al paso del aire, por lo que los valores de absorción del material base no resultan modificados prácticamente. Es el caso de los revestimientos de tejidos de fibra de vidrio u otros materiales y las aplicaciones de pinturas con pistola.

Los revestimientos impermeables (láminas plásticas o metálicas) modifican sustancialmente el espectro absorbente acústico del material de base, sobre todo a partir de las frecuencias en que la resistencia de masa de la lámina supera la impedancia del aire.

$$\omega \cdot M > \rho \cdot c$$

ω - Frecuencia angular [$\omega = 2\pi f$] (Hz)

M - Masa de la lámina (kg/m^2)

ρ - Densidad del aire (kg/m^3)

c - Velocidad del sonido del aire (m/seg).

De acuerdo con esta relación, una lámina plástica de $50 \mu\text{m}$ o de aluminio de $25 \mu\text{m}$ puede considerarse permeable al sonido hasta los 1.000 Hz. Para frecuencias más altas, disminuye lentamente la permeabilidad al sonido, y por lo tanto, la absorción de acuerdo con la ley de masa.

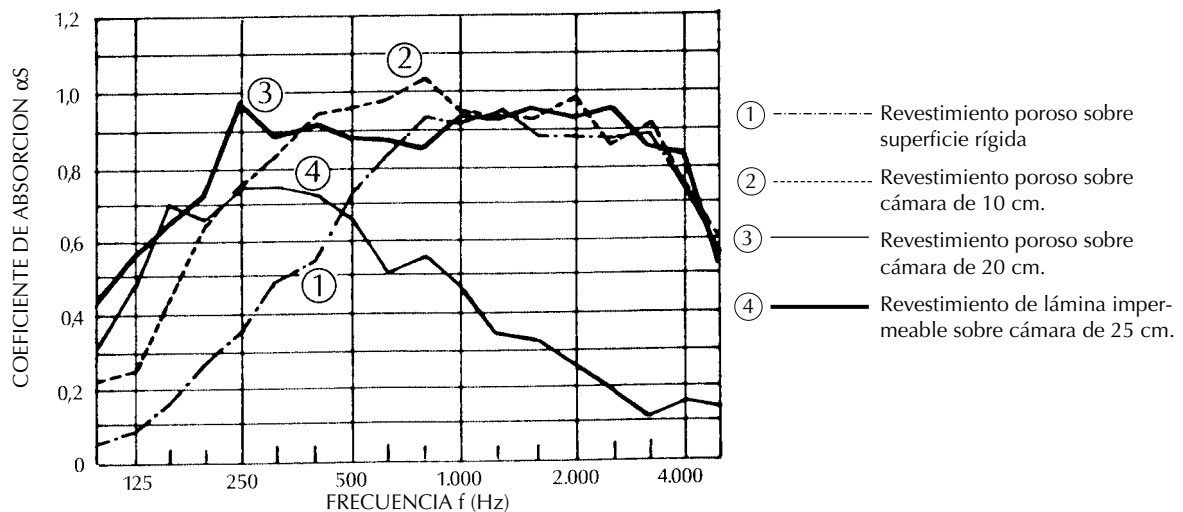


Fig. 10. Absorción acústica de paneles de fibra de vidrio 30 mm, con revestimiento poroso o lámina impermeable.

En la Fig. 10 se encuentran representados estos aspectos.

Las curvas 1, 2 y 3 corresponden al mismo material base con revestimiento poroso. Los valores de absorción acústica directamente apoyados sobre superficie rígida son menores a frecuencias bajas y medias, que si la cámara es de 10 ó 20 cm.

La curva 4 corresponde al mismo material base, pero revestido con lámina impermeable de permeabilidad acústica hasta frecuencias de 250-400 Hz, debido a que la masa de la lámina es importante en este caso. A partir de esas frecuencias, la lámina refleja buena parte del sonido incidente, por no ser permeable al mismo, lo que reduce el coeficiente de coeficiente de absorción sonora, actuando como un sistema de resonador de placa.

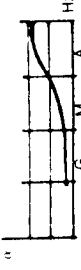
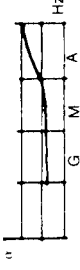
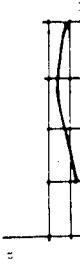

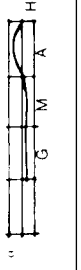
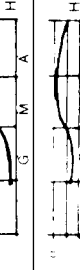

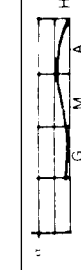
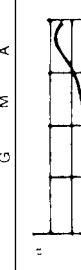
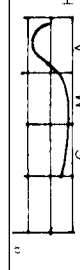


Se incorpora una tabla extraída del libro «Acústica en los edificios», de M. Meisser donde están agrupados tipológicamente diversos materiales, indicando también su comportamiento a distintas gamas de frecuencias, donde:

G = gama de sonidos graves.

M = gama de sonidos medios.

A = gama de sonidos agudos.

TABLA 2

NATURALEZA	ASPECTO	FORMA DE COLOCACION	PROCESO DE ABSORCION	VALOR ACUSTICO RELATIVO	OBSERVACIONES
Placas de fibras minerales comprimidas. • Lana de roca. • Lana de vidrio.	Placas rígidas con superficie uniforme o fisurada o ranurada.	Encoladas.	La absorción es debida a la porosidad de las placas.		Estos materiales son imputrescibles y no combustibles. Pueden encolarse sobre paramentos verticales. No es conveniente pintar estas placas, salvo, eventualmente, con pintura al agua que no tape los poros.
		Suspendidas.	Al efecto de porosidad se añade un efecto de diafragma que aumenta la absorción de los graves.		
Placas de fibras minerales poco comprimidas con una lámina plástica. • Lana de vidrio.	Placas semirrígidas autoportantes.	Suspendidas.	La absorción es debida a la porosidad y al efecto diafragma de la placa suspendida. La película plástica modera la absorción de los agudos en favor de los medios.		Estos materiales son interesantes por su poder absorbente casi uniforme. Imputrescible y no combustible.
		Encoladas.	La absorción es debida a la porosidad.		
Placas de fibras vegetales comprimidas. • Fibra de madera. • Fibra de caña de azúcar. • Paja, caña.	Superficie uniforme fisurada, estriada, ranurada o perforada.	Encoladas.	La absorción es debida a la porosidad y al efecto de diafragma.		Es un material combustible. Es conveniente no pintarlas. Pueden encolarse sobre paramentos verticales.
		Suspendidas.	La absorción es debida a los grandes poros del material.		
Placas de fibras de madera	Fibras de madera aglomeradas con cemento. El aspecto es poco decorativo si queda a cara vista.	Encoladas o clavadas.	La absorción es debida a los grandes poros del material.		El poder absorbente aumenta con el espesor. Sólo pueden aplicarse sobre paramentos planos. Es un material combustible.
		Suspendidas.	La absorción aumenta por el efecto de diafragma.		
Enrejados o tejidos.		Suspendidos o fijados sobre armadura.	Se obtiene el resultado que corresponde al material que recubren. Una placa de lana de vidrio colocada sobre un tejido de gran malla da el resultado de la lana de vidrio.		Pueden ser colocados en revestimientos de muros con materiales combustibles, pero pueden ignifugarse.
		Encoladas.	Las células están cerradas y la porosidad tiene poco efecto.		
Poliestireno expandido.	Placas blancas.	Suspendidas.	Efecto de membrana ligera.		Sólo el poliestireno cortado mecánicamente tiene una ligera eficacia. Es un material combustible
		Encoladas.	Absorción por porosidad.		
Proyecciones de fibras minerales.	Superficie rugosa irregular		Eficaz solamente en frecuencias agudas.		El revestimiento es bastante frágil, se debe proyectar sobre superficies accesibles para poder efectuar reparaciones
Enlucidos porosos con base de yeso, vermiculita.	Pueden teñirse en la masa.		Eficacia débil y sobre todo en los graves y medios.		
Pinturas absorbentes	Colorido variado.				

04.05.02. RESONADORES DE PLACA

Si de acuerdo con el espectro del ruido producido, debe realizarse el tratamiento especialmente en bajas frecuencias y si no se dispone del espacio suficiente la solución más idónea es la aplicación de resonadores de placa.

Estos consisten en una placa u hoja que vibra sobre un colchón de aire. Si la placa es suficientemente grande y no demasiado rígida, la fuerza de retroceso vendrá definida por la rigidez de la capa de aire.

Considerando que la placa u hoja vibra con la misma amplitud en toda su superficie (lo cual en la práctica es válido), la frecuencia de resonancia del resonador viene dada por la expresión:

$$f_o = \frac{c}{2\pi} \sqrt{\frac{\rho}{\rho' \cdot d \cdot d'}}$$

donde:

c - Velocidad del sonido en el aire (m/seg).

ρ - Densidad del aire (kg/m³).

ρ' - Densidad de la placa u hoja (kg/m³).

d - Espesor de la capa de aire (m).

d' - Espesor de la placa u hoja (m).

El grado de absorción de estos resonadores depende de las pérdidas internas del material de placa u hoja y de las pérdidas por frotamiento en puntos de sujeción.

Dicho grado de absorción más bien limitado puede aumentarse rellenando el espacio de aire con un material absorbente de lana mineral (ver Fig. 11).

El material absorbente introducido en la cámara, amortigua las vibraciones reflejadas en la pared rígida, detrás de la placa y que no permiten la vibración completa de ésta, dando lugar en su ausencia a una reducción de la energía absorbida y, por tanto, del valor del coeficiente de absorción.

Lo que sí es importante es cuadricular el espacio de aire para evitar la propagación tangencial de sonido.

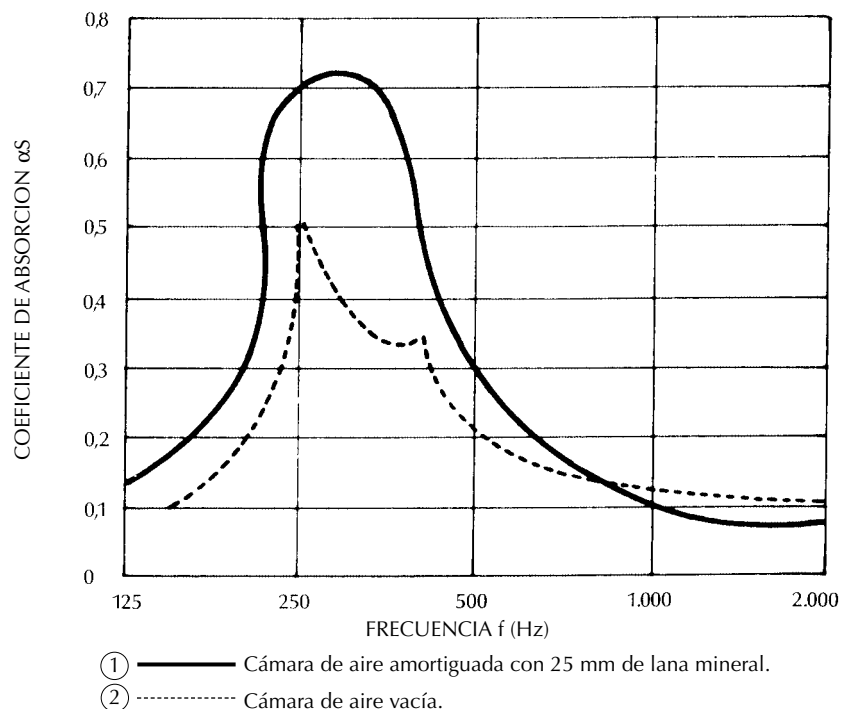


Fig. 11. Coeficientes de absorción acústica de un panel contrachapado de 1,5 mm. con cámara de aire de 60 mm.

04.05.03. RESONADORES DE AGUJERO O DE HELMHOLTZ

La constitución de los resonadores de agujero es en esencia la misma que los resonadores de placa, con la diferencia de que la placa u hoja va provista de perforaciones. Al igual que en los resonadores de placa, debe cuadrícularse el espacio de aire, a fin de evitar la propagación de sonido paralela a la placa. El tamaño de las cuadrículas debe ser pequeño en comparación con la longitud de onda del sonido a amortiguar.

Con este tipo de resonadores se consigue, para un espesor limitado, un elevado grado de absorción para la gama de frecuencias medias. La amortiguación en este caso está determinada por el rozamiento del aire con las paredes de las perforaciones, acompañado de un desprendimiento de calor. Como en caso de los resonadores de placa, el relleno del espacio de aire con un material poroso a base de lana mineral aumenta el grado de absorción.

En la Fig. 12 se representa la curva de absorción de un resonador de agujero, compuesto por una placa rígida de 9,5 mm de espesor y un 8,3% de superficie perforada, con un espacio de aire de 50 mm relleno con lana de roca.

La frecuencia de resonancia del resonador viene dada en este caso por la expresión:

$$f_0 = \frac{c}{2\pi} \sqrt{\frac{\epsilon}{l' \cdot d}}$$

donde:

c - Velocidad del sonido en el aire (m/seg).

ϵ - Relación superficie perforada/superficie total (m^2/m^2).

l' - Profundidad efectiva del agujero (m).

d - Espesor de la capa de aire (m).

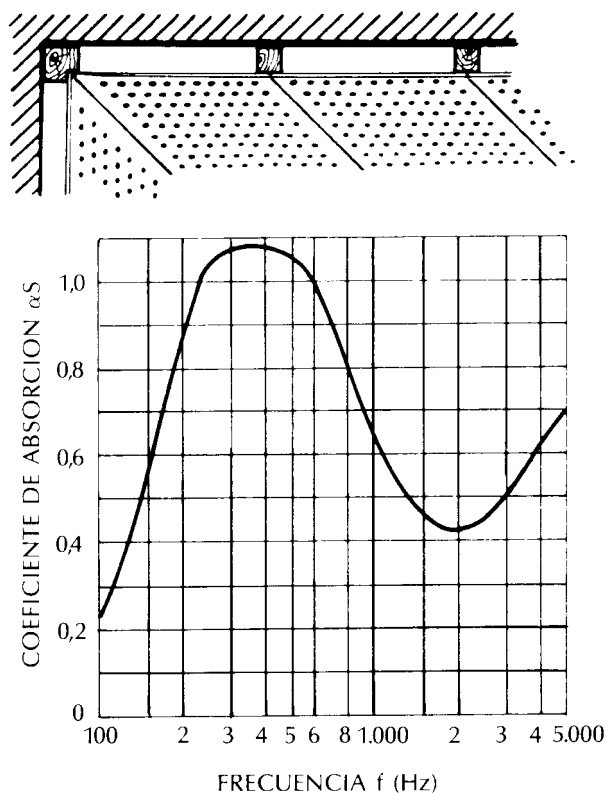


Fig. 12. La curva corresponde a una placa rígida de 9,5 mm con agujeros de 15 mm de diámetro, distanciados a 46 mm (superficie agujeros 8,3%), separada de la pared a 50 mm y rellena de la cámara con lana de roca